

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

# **Optimalizace predikce časové náročnosti údržby letadel**

Optimization of aircraft maintenance time  
prediction

Student:

Štěpán Krump

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vojtěch Graf, Ph.D.

Ostrava 2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Štěpán Krump**  
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy  
Studijní obor: 3708R037 Technologie provozu letecké techniky  
Téma: **Optimalizace predikce časové náročnosti údržby letadel**  
**Optimization of Aircraft Maintenance Time Prediction**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

### Cíl práce:

Optimalizace výpočtu predikce normohodin tak, aby výsledek v maximální možné míře ilustroval skutečný počet hodin potřebných pro údržbu daného letounu.

### Osnova práce:

1. Úvod.
2. Údržba letecké techniky.
3. Analýza současného procesu výpočtu normohodin.
4. Identifikace vstupních dat.
5. Analýza vstupních dat a normohodin v reálném provozu.
6. Návrh optimalizace výpočtu odhadu normohodin, popř. stanovení koeficientu
7. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

ŠULC, Jiří a NĚMEC, Vladimír. Lidský činitel v údržbě letadel. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-482-6.

KOBLEN, Ivan a SZABO, Stanislav. Manažment životního cyklu letecké techniky I. Košice: Multiprint, 2016. ISBN 978-80-89551-28-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

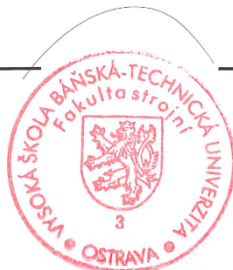
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Graf, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní data reálné údržbové organizace, která souhlasí s využitím dat pro účely této bakalářské práce. Údržbová organizace nesouhlasila se zveřejněním interních dat. Interní data údržbové organizace jsou obsažena v technické zprávě k této bakalářské práci.

V Ostravě 18. 5. 2020



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на ведоми, же Высшая школа ба́нская – Техни́кая универси́та Остра́ва (дále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на ведоми, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18. 5. 2020



.....

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Štěpán Krump

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sokolů 109/38

Přerov VIII – Henčlov, 750 02

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KRUMP, Štěpán. *Optimalizace predikce časové náročnosti údržby letadel: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 74 s. Vedoucí práce: Graf V.

Bakalářské práce se zabývá optimalizací časových predikcí v podmínkách letecké údržbové organizace. V práci je provedena analýza dostupných dat se záměrem optimalizace a popř. stanovení exaktnějšího výpočtu předpokládaných hodin pro kontrolní revize a údržbu letounu. Výsledek analýzy je porovnán s aktuálním přístupem řešení problematiky. Součástí práce je lokalizace úzkých hrdel v procesu údržby. Na základě údajů z analýzy je navržena optimalizace výpočtu predikce časové náročnosti údržby letadel. Výstupem práce je software určený k třídění dat.

## **ANNOTATION OF BACHEORY THESIS**

KRUMP, Štěpán. *Optimization of Aircraft Maintenance Time Prediction: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Transport institute, 2020, 74 p. Thesis head: Graf V.

The bachelor thesis is focused on the optimization of the aircraft maintenance time prediction in conditions of aircraft maintenance organization. This thesis contains an analysis of available data, which tries to find a solution for optimization or eventually set a scientific calculation of aircraft maintenance time prediction. The analysis is followed by a comparison of the results with current solution used within this field. Another part of the thesis deals with localization of bottleneck in chain of processes of aircraft maintenance. The findings of the analysis are summarized in suggestion of the optimization of aircraft maintenance time prediction. The final output of this thesis is data sorting software.

## Seznam použitého značení

<b>Značení</b>	<b>Český význam</b>	<b>Anglický význam</b>
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví	European aviation safety agency
ERP	Plánování podnikových zdrojů	Enterprise resource planning
FAA	Federální letecká správa	Federal aviation administration

# 1 Obsah

Úvod.....	11
<b>1 Údržba letecké techniky .....</b>	<b>12</b>
1.1 Definice pojmů .....	12
1.2 Letecké údržbové organizace.....	13
1.2.1 Oprávnění organizací k údržbě letadel.....	13
1.2.2 Osvědčující personál údržby .....	13
1.3 JOB AIR Technic a.s. ....	14
1.4 Popis životního cyklu letounu.....	15
1.4.1 Etapa návrhu a koncepce.....	15
1.4.2 Etapa vývoje.....	15
1.4.3 Etapa výroby .....	16
1.4.4 Etapa provozu.....	16
1.4.5 Etapa zabezpečení provozu .....	16
1.4.6 Etapa vyřazení z provozu .....	17
1.5 Metody údržby letecké techniky .....	17
1.5.1 Metody údržby nezávislé na stavu techniky .....	17
1.5.2 Tradiční metoda údržby .....	18
1.5.3 Metoda údržby podle bloků .....	19
1.5.4 Metoda nepřetržité údržby .....	21
1.5.5 Metody údržby závislé na stavu techniky .....	22
1.5.6 Metoda údržby podle skutečného technického stavu.....	22
1.5.7 Metoda údržby sledováním technického stavu .....	23
1.6 ERP Software.....	24
<b>2 Analýza současného procesu .....</b>	<b>26</b>
2.1 Etapy procesu údržby.....	26
2.2 Výsledné stavy .....	27
2.2.1 Provedení údržby dle vypočtené predikce .....	27

2.2.2	Provedení údržby po predikovaném termínu .....	27
2.2.3	Provedení údržby před predikovaným termínem .....	28
<b>3</b>	<b>Identifikace vstupních dat .....</b>	<b>29</b>
3.1	Získání balíku prací se záznamy pracovních karet .....	29
3.2	Fáze úprav .....	29
3.3	Pracovní balík .....	30
3.3.1	Rozdělení dle povahy prací .....	30
3.3.2	Rozdělení dle skupin pracovníků .....	33
3.3.3	Rozdělení podle účtování .....	34
<b>4</b>	<b>Analýza vstupních dat a normohodin v reálném provozu .....</b>	<b>35</b>
4.1	Pracovní balík .....	35
4.2	Analýza skupiny s účtováním předem .....	40
4.3	Časový průběh údržby .....	48
4.4	Srovnání dat s externími zdroji .....	52
<b>5</b>	<b>Návrh optimalizace .....</b>	<b>54</b>
5.1	Třídění dat pomocí softwaru .....	54
5.2	Navrhovaný systém úprav .....	57
5.3	Vlivy na změny předpokládaných časů .....	60
5.3.1	Technický stav letecké techniky .....	60
5.3.2	Činnost jiných pracovníků .....	61
5.3.3	Uspořádání pracovní plochy .....	61
5.3.4	Poloha pracovní plochy v rámci hangáru .....	62
5.3.5	Provoz výdejny náradí .....	63
5.3.6	Celková a aktuální výkonnost pracovníků .....	64
5.3.7	Stav náradí a techniky .....	65
5.3.8	Dostupnost náradí, techniky a materiálu .....	66
5.3.9	Délka pracovních směn .....	66
5.4	Průběh práce pracovníka .....	67



5.5	Rizika úprav .....	68
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>70</b>
	<b>Zdroje .....</b>	<b>72</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>73</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>74</b>

## Úvod

Počátky letectví na začátku 20. století jsou spojeny s počátky údržby letecké techniky pro udržení provozuschopnosti letecké techniky a zajištění maximální možné míry bezpečnosti během jejího celého životního cyklu.

Údržba letecké techniky začíná již v rané fázi jejího vývoje při konstrukčních návrzích, kdy se určují intervaly technických prohlídek konstrukčních prvků životně důležitých pro bezpečný provoz letecké techniky. Uvedením do provozu začíná hlavní část procesu údržby letecké techniky, kdy dochází k pravidelným technickým prohlídkám, které zahrnují opravy, výměny a modifikace. Tyto činnosti jsou prováděny v různém časovém rozsahu v závislosti na typu letounu, povaze technické prohlídky, zkušenostech pozemního personálu, fázi životního cyklu techniky, provozních podmínkách provozovatele, historii letecké techniky a nainstalovaného vybavení.

Tato bakalářská práce se zabývá právě predikcí času potřebného pro provedení pravidelné údržby letecké techniky. Tento časový údaj hraje hlavní roli pro celý chod letecké údržbové organizace, kde probíhá údržba letecké techniky. Letecké údržbové organizace mají nemalou roli v procesu zajištění bezpečnosti v letectví. Pro správný chod letecké údržbové organizace je nutné mít odpovídající prostory pro provádění údržby letecké techniky, dostatek pracovních sil, materiál, náradí a prostředky pro údržbu daných typů letecké techniky.

Predikce času potřebného pro provedení údržby je důležitá pro objednatele, který si objednal údržbu letounu, tak i pro leteckou údržbovou organizaci, která údržbu provádí. Z hlediska objednatele se jedná o čas, po který bude letecká technika stažena z provozu a s tím souvisí samozřejmě zajištění její náhrady v provozu. Pro leteckou údržbovou organizaci je tento údaj důležitý pro celkový provoz společnosti z důvodu návaznosti zakázek, dostatku materiálu a pracovních sil. Vhodně nastavený výpočet predikce času pro údržbu zaručí dobrý předpoklad pro ideální vytíženost linky a minimalizuje ztráty při nečinnosti nebo zpoždění.

Cílem této bakalářské práce je zpřesnění predikce hodin potřebných pro údržbu letecké techniky v údržbové letecké organizaci na základě analýzy dat získaných v provozu. Data jsou zaměřena na konkrétní typ letounu Airbus A320 a jeho revizi typu C. Zpřesnění údaje o počtu potřebných hodin pro provedení údržby povede ke zlepšení plynulosti provozu organizace. Bakalářská práce je vypracována v režimu utajení a její celé znění s citlivými daty je uvedeno v neveřejné technické zprávě této práce.

# 1 Údržba letecké techniky

Údržba letecké techniky je nezbytnou součástí jejího životního cyklu. Dodržováním systému řízení jakosti lze docílit nejvyšší efektivity systému provozu a bezpečnosti v letecké dopravě.

## 1.1 Definice pojmů

Následující pojmy jsou definovány z důvodu jejich použití v textu.

Systémy řízení jakosti se řídí dle systému norem ČSN ISO 9000. [1]

Jakostí se rozumí souhrn všech inherentních vlastností produktu, systému nebo děje splňovat očekávání zákazníka. Jakost lze rozdělit podle dvou jakostních charakteristik. Kvalitativní jakostní charakteristiky nelze objektivně měřit, ale lze je posoudit subjektivně na základě subjektivního vnímání. Kvantitativní jakostní charakteristiky lze měřit a posuzovat na základě stanovených norem. [1]

Mezi kvantitativní jakostní charakteristiky patří také spolehlivost. Dle normy ČSN ISO 9000 je spolehlivost souhrnným termínem pro popis pohotovosti a ovlivňujících okolností. Pro zachování spolehlivosti letecké techniky, a tím i její bezpečnosti, je nutné dodržovat systémy údržby stanovených dle výrobců. Mezi okolnosti ovlivňující spolehlivost produktu patří bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby. [1]

Bezporuchový produkt je takový, který je schopen plynule vykonávat požadované funkce v daném časovém intervalu za určitých podmínek. [1]

Pohotovost je schopnost produktu setrvat ve stavu, ve kterém je objekt schopen plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku, za daných podmínek a za předpokladu, že to vnější podmínky dovolují. [3]

Udržovatelnost je schopnost produktu v daných provozních podmínkách setrvat ve stavu, nebo se do něj opětovně vracet, ve kterém je schopen plnit požadované funkce. Za předpokladu dodržení stanovených podmínek provozu a údržby. [3]

Zajištěnost údržby je schopnost údržbové organizace, poskytovat služby údržby a potřebné prostředky podle požadavků systému a metody údržby daného produktu. [3]

Životnost je schopnost produktu plnit požadované funkce během provozu do okamžiku jeho údržby nebo vyřazení. [1]

Údržba je činnost nebo souhrn více činností, kterými se produkt uvádí do stavu, kdy je schopen vykonávat všechny požadované funkce. Provádění údržby prodlužuje životní cyklus letecké techniky a zachovává její provozní bezpečnost. [1]

Porucha je jev, který pro produkt znamená dočasnou nebo úplnou ztrátu schopnosti vykonávat požadované funkce. [1]

Oprava je činnost během údržby, která se provádí až po projevení poruchy. [1]

Doba údržby je časový interval, ve kterém je produkt odstaven z provozu a jsou na něm prováděny zásahy vedoucí k zachování jeho schopnosti vykonávat požadované funkce. [1]

## **1.2 Letecké údržbové organizace**

Údržbu letecké techniky vykonávají letecké údržbové organizace. Tyto organizace se zabývají pravidelnou údržbou letecké techniky, zástavbou technických celků do letecké techniky a jejich údržbou.

### **1.2.1 Oprávnění organizací k údržbě letadel**

Organizace konající činnosti týkající se údržby letecké techniky musí mít certifikaci dle přílohy II Part 145. Tato certifikace se vydává na základě splnění podmínek stanovených Evropskou agenturou pro bezpečnost v letectví (EASA) v nařízení Komise 1321/2014. [3]

Mezi hlavní podmínky pro získání certifikace dle přílohy II-Part 145 patří:

- splnění požadavků na provozní prostory,
- splnění požadavků na kvalifikaci personálu dle Part 147,
- splnění požadavků na vybavení, materiál a nářadí,
- při provádění údržby mít a používat aktuální údaje o provedené údržbě,
- zabezpečení systému plánování tak, aby všechny práce údržby byly řádně dokončeny
- hlásit příslušnému orgánu nebo organizaci jakýkoliv stav techniky, jehož výsledkem může být nebezpečný stav
- mít zavedený systém jakosti a dodržování bezpečnosti a zavedené postupy údržby

### **1.2.2 Osvědčující personál údržby**

Osvědčující letecký personál oprávněný uvolnit leteckou techniku do provozu musí být certifikovaný dle přílohy III-Part 66. [3]

Kategorie průkazů způsobilosti technika údržby letadel:

- kategorie A
- kategorie B1
- kategorie B2
- kategorie C

Kategorie A a B1 jsou rozděleny do podkategorií podle konfigurace letecké techniky a pohonných jednotek.

- A1 a B1.1 pro letadla s lopatkovými pohonnými jednotkami
- A2 a B1.2 pro letadla s pístovými pohonnými jednotkami
- A3 a B1.3 pro vrtulníky s lopatkovými pohonnými jednotkami
- A4 a B1.4 pro vrtulníky s pístovými pohonnými jednotkami

### **1.3 JOB AIR Technic a.s.**

Podklady pro svoji práci jsem získal od společnosti JOB AIR Technic a.s., která sídlí na mezinárodním letišti Leoše Janáčka Ostrava.

Společnost byla založena v roce 1993 jako středisko pro údržbu letadel Let-410 Turbolet na letišti Leoše Janáčka Ostrava, které se dříve jmenovalo Ostrava Mošnov. V roce 2004 společnost získala oprávnění k provozování údržbové organizace dle EASA Part 145, provozování výcvikové organizace dle EASA Part 147 a certifikaci personálu dle EASA Part 66. Od roku 2005 je společnost držitelem oprávnění pro údržbu letounů SAAB 340. V roce 2008 proběhlo dokončení výstavby nového servisního střediska. Ve stejném roce společnost získala oprávnění pro údržbu letounu Boeing 737 NG s motory CFM56. V roce 2011 své oprávnění pro údržbu rozšířila o řadu letounů Airbus A320 family osazenými motory CFM56. Od roku 2014 je společnost oprávněna k údržbě dle FAA Part 145. Provádět údržbu na letounech typu Airbus A330 s motory PW4000 nebo CF6-80E1 je společnost oprávněna od roku 2017. V roce 2020 proběhlo dokončení a otevření nového hangáru.[4]

V současnosti organizace čítá 200 až 500 zaměstnanců. Její provoz probíhá v jednom z největších údržbových hangárů ve střední a východní Evropě s rozlohou 11 680 m<sup>2</sup> pro údržbu dvou širokotrupých letounů nebo šesti úzkotrupých letounů. V současné době je organizace oprávněna k údržbě letounů Airbus A 320 family s motory CFM56 a V2500,

Airbus A330 s motory GE CF6 a PW4000, Boeing 737-300/400/500 s motory CFM56 a Boeing 737-600/700/800/900 s motory CFM56.[5]

## **1.4 Popis životního cyklu letounu**

Životní cyklus letounu se řídí podle všeobecného životního cyklu systémů, který se skládá ze šesti etap.

1. Etapa návrhu a koncepce
2. Etapa vývoje
3. Etapa produkce
4. Etapa provozu
5. Etapa zabezpečení provozu
6. Etapa vyřazení z provozu

Každá etapa systému reprezentuje nevyhnutelný časový úsek životního cyklu letounu. Tyto jednotlivé časové úseky jsou složeny z odpovídajících procesů a činností. [2]

### ***1.4.1 Etapa návrhu a koncepce***

V této etapě probíhá posouzení přínosů a nedostatků z předešlých systémů. Etapa návrhu a koncepce je rozhodující pro určení náročnosti celého systému z hlediska vývoje a stanovení množství vynaložených zdrojů pro dokončení životního systému. [2]

Hlavním úkolem etapy návrhu a koncepce je posouzení nových konstrukčních řešení, zpracování požadavků na životní cyklus a rozhodnutí o jeho cílech. Během této etapy je zpracováno několik návrhů pro splnění všech cílů systému. Tyto návrhy mohou mít podobu analýz, hodnocení, odhadů, studií, experimentů nebo celého prototypového vývoje. [2]

Účelem této etapy je rozhodnutí o dalším pokračování ve vývoji a dalšího vynaložení zdrojů nebo ukončení celého projektu. [2]

### ***1.4.2 Etapa vývoje***

Cílem etapy vývoje je dosáhnout stanovených požadavků systémů tak, aby jeho vývoj, výroba, provoz, údržba a vyřazení byly realizovatelné. [2]

V průběhu této etapy dojde k technickému zpracování dokumentace řešení návrhu, realizaci prototypu a jeho zkoušek. Toto řešení stanovuje teoretické výkony systému na základě dostupných dat. Zpracované řešení obsahuje také zvolenou technologii výroby, osnov výcviku, systému údržby a technických prostředků podpory. [2]

Výsledkem této etapy je předmětný systém nebo jeho finální prototyp, výrobní plány, technické informace a ověřená dokumentace. Na základě tohoto výsledku jsou zpracovány předpokládané požadavky a náklady na výrobu, architektura systému, rozpočet projektu, časový plán, požadavky a náklady na životní cyklus projektu a potvrzení o splnění požadavků systému. [2]

#### **1.4.3 Etapa výroby**

Etapa výroby začíná schválením výroby. Hlavním cílem této etapy je vyprodukovat systém nebo produkt na základě dokumentace sestavené v etapě vývoje. K činnostem této etapy patří také testování vyrobených produktů a výroba pomocného vybavení k jejich provozu. Jednotlivé produkty mohou být vyráběny individuálně po kusech nebo hromadně po sériích. [2]

V průběhu této etapy může docházet k úpravám produktu nebo změnám výrobních procesů. Etapa výroby se může překrývat s následujícími etapami a její konec může nastat až při vstupu cyklu do etapy vyřazení z provozu. [2]

Výsledkem této etapy je funkční produkt nebo jeho série, který plní všechny požadavky z etapy návrhu a koncepce. Během etapy výroby dochází ke sběru dat, které jsou podrobeny rozborům vedoucím k optimalizaci probíhající produkce a výrobních etap dalších produktů. [2]

#### **1.4.4 Etapa provozu**

Etapa provozu začíná uvedením produktu z výroby do provozu. V průběhu této etapy produkt prochází údržbou, během které probíhá sběr dat z provozu a je posuzována jeho provozní efektivita. [2]

Etapa provozu končí s ukončením provozu produktu z důvodu nemožnosti plnění provozních funkcí nebo z rozhodnutí provozovatele. [2]

Výsledkem této etapy je užitek z provozu produktu a dat z provozu získaná pro vývoj dalších produktů nebo modernizaci stávajícího produktu. [2]

#### **1.4.5 Etapa zabezpečení provozu**

Cílem této etapy je zabezpečení služeb údržby, logistiky a podpory, které zaručí nepřerušování provozu produktu. Z tohoto důvodu provoz vyžaduje dostatečně vyškolený personál, který dokáže udržovat produkt v plně funkčním stavu. [2]

Etapa zabezpečení provozu zahrnuje všechny procesy spojené s údržbou a opravami poruch vzniklých během provozu. Během údržby probíhá sběr dat, identifikace anomálií

a sledování efektivity produktu v provozu. V průběhu etapy se systém řízení údržby může měnit na základě získaných dat z provozu. [2]

Výsledkem etapy zabezpečení provozu je sestavení nejlepšího vhodného řešení systému řízení údržby s organizací údržby a provozovateli. Takové řešení dokáže zajistit nejdelší možnou dobu provozu produktu za podmínek, ve kterých je produkt provozován. Výsledkem jsou i změny provedené ve výrobě, podmínkách provozu a snížení bezpečnostních rizik při provozu na minimální míru. [2]

#### **1.4.6 Etapa vyřazení z provozu**

Etapa vyřazení z provozu zajišťuje odstranění produktu, jeho podpory při provozu a odstranění systému pro vyřazení z provozu. [2]

Tato etapa zahrnuje procesy spojené s vyřazením z provozu, posouzení stavu vyřazeného produktu, podání zprávy z monitorování efektivity provozu, identifikace a klasifikace poruch a podání celkové závěrečné zprávy o efektivitě celého cyklu. [2]

### **1.5 Metody údržby letecké techniky**

V současné době je údržba letecké techniky komplexní problematikou zaměřující se především na životnost techniky, její bezpečnost a náklady na provoz a údržbu. Na základě získaných poznatků v minulosti a dnešních dostupných technologií se metody údržby letecké techniky značně liší. Zvolení vhodné metody údržby a intenzitě intervalů prohlídek závisí na typu letounu, náročnosti na údržbu, použité výrobní technologii, podmínkách, ve kterých probíhá provoz, konstrukčním řešením, spolehlivosti jednotlivých prvků konstrukce a zařízení a dalších neméně významných faktorech. [3]

Všeobecně se všichni výrobci snaží vést konstrukci svých letounů směrem, který upřednostňuje delší intervaly mezi jednotlivými prohlídkami a pravidelnou údržbou a současně, aby doba strávená letounem v údržbě byla co nejkratší. V neposlední řadě má také velký vliv na výběr metody údržby finanční náročnost údržby letounu během jeho životního cyklu. [3]

Metody údržby lze rozdělit podle jejich zaměření a povahy na následující typy. [3]

#### **1.5.1 Metody údržby nezávislé na stavu techniky**

Metody údržby lze rozdělit dle vztahu k technickému stavu letecké techniky. [3]



Metody údržby nezávislé na stavu techniky se používají pro údržbu mechanicky namáhaných části letadla a také částí, u kterých není možné použít pokročilejší metody údržby. Z hlediska časových intervalů údržby se jedná o údržbu podle doby provozu nebo počtu pracovních cyklů. [3]

Hlavní charakteristiky těchto metod údržby jsou pravidelně se opakující práce podle pevně stanovených časových úseků provozu letadla, nízká efektivita, vysoké náklady na údržbu, velká časová náročnost a nasazení více lidských zdrojů. [3]

V těchto metodách se údržba techniky provádí s předstihem před opotřebením dané součásti letounu. Ta má za následek vyšší náklady v podobě vyřazení daného dílu před koncem jeho skutečné životnosti a delší čas strávený v údržbě v návaznosti na úkonech spojených s výměnou dílů. Tyto metody údržby vyžadují subjektivní posouzení stavu, což vyžaduje vyšší kvalifikaci pracovníků. [3]

Mezi typické součásti letounu řídící se těmito metodami patří lana, táhla, závěsy křídel, pneumatiky, těsnění nebo hadice. [3]

### ***1.5.2 Tradiční metoda údržby***

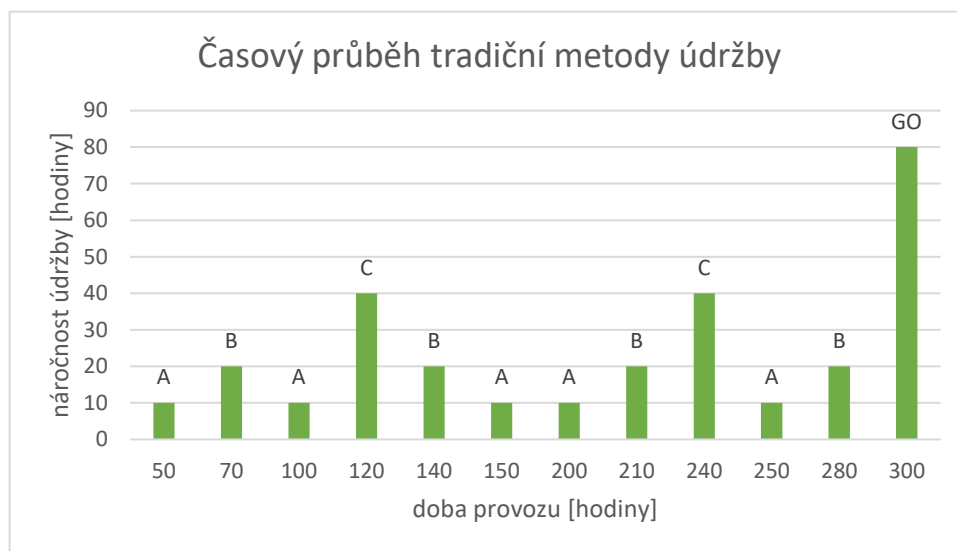
Jedná se o jednu z prvních metod používaných ještě před začátkem shromažďování dat o spolehlivosti techniky. Metoda byla používána v minulosti při údržbě prvních dopravních letounů, bojových letounů, cvičných letounů a vrtulníků. [3]

Tradiční metoda údržby rozděluje proces údržby do výrobcem pevně daných intervalů, ve kterých se provádějí předepsané práce a činnosti. Tyto práce a činnosti se pravidelně opakují. Výměna nebo oprava zařízení a součástí probíhá po uplynutí jejich skutečné životnosti, povolené doby provozu výrobcem nebo předpokládané životnosti. [3]

Nevýhody této metody jsou delší čas strávený v údržbě, odstavení techniky v průběhu plánovaného provozu a neuplatňování vztahů pro vznik poruch. [3]

Metoda je používána do dnes z důvodu její nenáročnosti na kontrolní činnost, ve které převažují vizuální kontroly. V systémech údržby letecké techniky má tradiční metoda údržby doposud hojné zastoupení z důvodů její univerzálnosti a bezpečnosti. [3]

V následujícím grafickém znázornění je časový průběh tradiční metody údržby. Jednotlivé záznamy reprezentují předepsané práce A, B, C a GO (generální oprava) s časovou náročností 10, 20, 40 a 80 hodin. Jednotlivé práce se opakují v pravidelných intervalech v závislosti na době provozu. Údržba A je provedena každých 50 hodin provozu, údržba B je provedena každých 70 hodin provozu, údržba C je provedena každých 120 hodin provozu a generální oprava probíhá každých 300 hodin provozu.



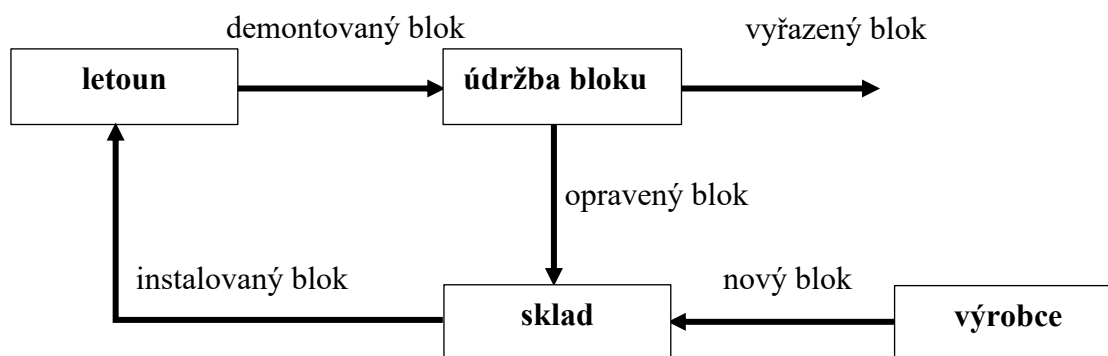
Obrázek 1 Časový průběh tradiční metody údržby

### 1.5.3 Metoda údržby podle bloků

Při uplatňování metody údržby podle bloků je letoun konstrukčně rozdělen do několika skupin bloků na základě jejich funkce. Blok se v tomto případě uvažuje funkční celek, který je možné z letounu demontovat a jeho funkci si ověřit mimo letoun. Za jistých předpokladů lze bloky dále rozebírat na opravitelné nebo neopravitelné díly. [3]

Tuto metodu lze uplatnit za předpokladu, že letoun lze členit na jednotlivé bloky podle funkce a jednotlivé součástky v daném bloku mají podobnou délku životnosti. Předpokládá se menší životnost bloků než draku letounu. [3]

Metoda je založená na výměně celého funkčního bloku dílů, součástí a agregátů. K výměně dochází při vyšších stupních údržby. Během údržby se demontuje blok, který dosáhl své doby životnosti. Místo demontovaného bloku se instaluje blok připravený pro další provoz. Demontovaný blok se nechá podstoupit podrobnější údržbou a na základě stavu se vyřadí z provozu nebo se opraví a uloží do skladu, kde čeká na další cyklus provozu. V následujícím schématu lze vidět postup této metody. [3]



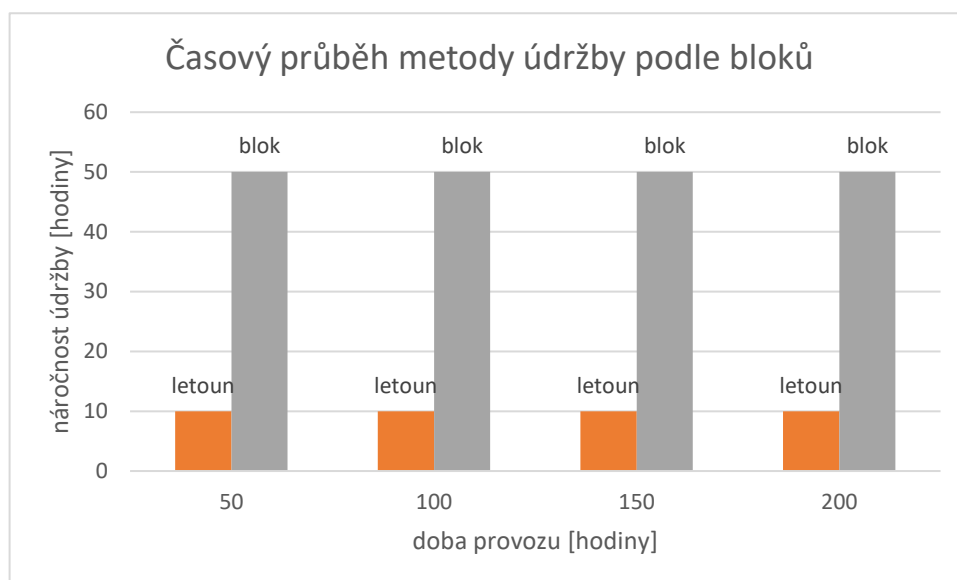
Obrázek 2 Schéma metody údržby podle bloků

Příkladem takového bloku může být motor, křídlo, trup, gondola, podvozek, soustava řízení, hydraulická soustava, čerpadla nebo interiér. [3]

Výhodou této metody je snížení doby, kterou letoun stráví v údržbě, rychlejší obnova provozuschopnosti letounu, prodloužení intervalů údržby. Údržbové práce na jednotlivých blocích probíhají mimo dobu údržby letounu. Pracovníci nepracují během údržby bloků pod časovým tlakem, které na ně vyvíjí provozovatel letounu, a tím se také snižuje riziko lidského selhání. [3]

Mezi nevýhody této metody patří nevyužití plné délky životnosti jednotlivých součástí v blocích. Tato nevýhoda je zapříčiněna řízením délky intervalu údržby bloku podle součásti s nejkratší dobou životnosti v daném bloku. Další nevýhodou je možný vznik chyby při montáži bloku do letounu a tím vznik následných poruch. S touto metodou nelze jednoznačně analyzovat spolehlivost jednotlivých součástí bloků, protože se na blok pohlíží jako na celek. Pro diagnostiku stavu bloku je nutné provést demontáž celého bloku, to vede k neefektivitě, která vzniká při demontování, vykonávání předepsaných prací, provádění kontrol a instalace bloku zpět do letounu, i když může být celý blok v bezporuchovém stavu. [3]

Následující znázornění představuje časový průběh údržby podle bloků. Lze z něj vyčíst, že doba letounu v údržbě je podstatně menší než údržba samotného bloku, což dovoluje letounu rychlejší návrat z údržby do provozu. Údržba jednotlivých bloků probíhá mimo dobu údržby letounu. [3]



Obrázek 3 Časový průběh metody údržby podle bloků

#### 1.5.4 Metoda nepřetržité údržby

Uplatňováním metody nepřetržité údržby se generální opravy a opravy s vyšší časovou náročností rozvrhují do několika menších celků jdoucích za sebou v menších časových intervalech. Tyto menší celky se vyskytují v okolí plánované generální opravy. [3]

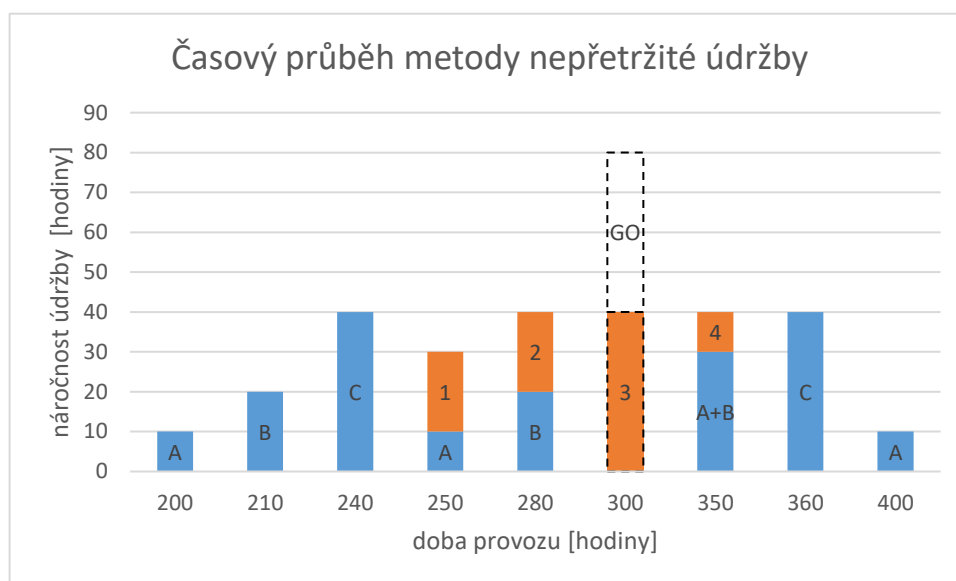
Předpokladem pro použití této metody jsou úzké vazby mezi provozovatelem a leteckou údržbovou organizací. Díky těmto vazbám si dokáže letecká údržbová organizace vhodně rozvrhnout množství prací a kontrol do menších oprav v okolí období generální opravy letounu. [3]

Výhodami této metody jsou zkrácení doby údržby během generální opravy, možnost rovnoměrného zatížení pracovníků letecké údržbové organizace a tím zvýšení efektivity provozu nejen letounu, ale také celé letecké údržbové organizace. [3]

Nevýhodou pro leteckou údržbovou organizaci provádějící metodu nepřetržité údržby je mít vyškolený personál a technické prostředky pro všechny typy údržbových prací. Problémy v tomhle případě vznikají při nerovnoměrném využití těchto předpokladů během ročního provozu letecké údržbové organizace. Dalším možným aspektem je zvýšení nároků na plánování a řízení personálu provádějícího údržbu. [3]

V grafickém znázornění části průběhu metody nepřetržité údržby je vyznačena generální oprava značkou „GO“ a šrafovaným ohraničením, její předpokládaná časová náročnost činí 80 hodin. V této metodě údržby se generální oprava rozdělila do menších částí v okolí doby

jejího provedení tak, aby doba každé údržby nepřekročila určitý počet hodin (v tomto případě nepřekročí 40 hodin). Rozvržené části generální opravy jsou označeny čísly 1-4 a označeny oranžovou barvou.



Obrázek 4 Časový průběh metody nepřetržité údržby

### 1.5.5 Metody údržby závislé na stavu techniky

Z důvodu zvyšujících se nároků na provoz a údržbu letecké techniky se zavedly metody s více objektivním charakterem, než mají metody údržby nezávislé na stavu techniky. [3]

Na základě získaných poznatků během provozu letecké techniky a její údržby v minulosti, lze stav letecké techniky sledovat během provozu a provádět údržbu s nejvyšší účinností a jen tehdy, když je to nutné. Základem těchto metod je teorie spolehlivosti a statistický rozbor zkušeností z provozu. Pro tyto metody je nutné zavedení systému sběru informací o podmínkách provozu a jeho efektivitě. [3]

Cílem těchto metod je dosáhnout nejvyšší možné míry provozní bezpečnosti za nejnižších ekonomických nákladů. Rozhodnutí o nutnosti provedení údržby probíhá na základě objektivního posouzení nebezpečí hrozící letounu při výskytu případné poruchy nebo poškození. [3]

### 1.5.6 Metoda údržby podle skutečného technického stavu

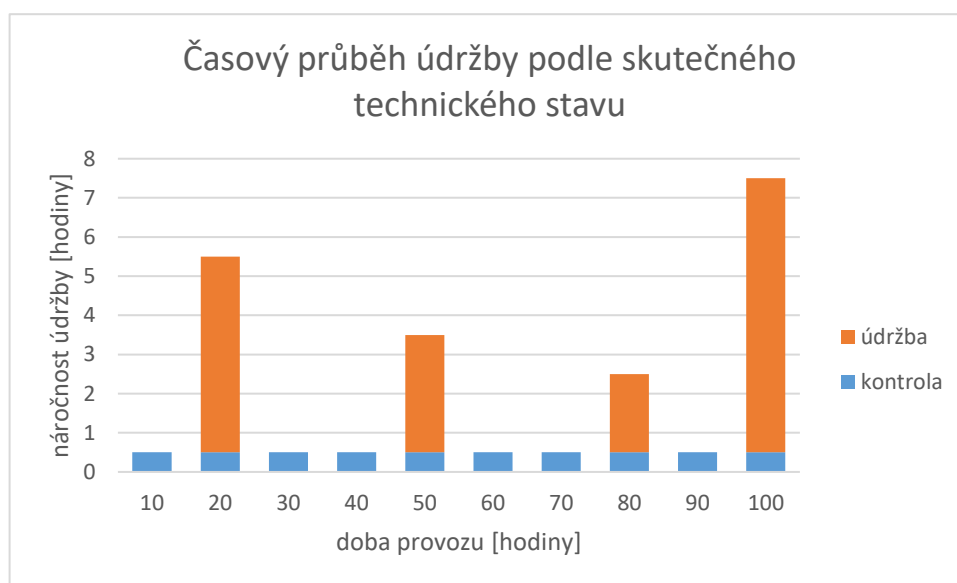
Metoda údržby podle skutečného technického stavu se provádí na základě neustálého nebo velmi častého pravidelného sledování technického stavu letadlových celků. Technický stav lze vyjádřit pomocí kvalitativních nebo kvantitativních parametrů. K sledování

kvantitativních stavů se používají kontrolní přístroje a zařízení umístěné na palubě letounu. U této metody přístroje měří hodnoty kontrolovaného parametru a ty se následně porovnávají s předepsanými hodnotami. Pouze v případě, že se hodnoty nachází mimo tolerance předepsaných hodnot, musí se vykonat opatření v podobě dočasné nebo úplně opravy. [3]

Výhodami této metody jsou menší časová náročnost údržby, vyšší ekonomická efektivita, nižší nároky na školení personálu, úspora materiálu a dílů, vyšší efektivita provozu. [3]

Nevýhodou je nutnost vybavení letounu finančně nákladným a váhově hmotným zařízením pro sběr a analýzu dat. Kontrolou a zápisem hodnot prochází všechny celky nezávisle na jejich spolehlivosti. [3]

Grafické znázornění níže popisuje časový průběh náročnosti údržby. Kontroly jsou prováděny v pravidelných krátkých intervalech a časová náročnost údržby je minimalizována jen na nutné zásahy.



Obrázek 5 Časový průběh údržby podle skutečného technického stavu

#### 1.5.7 Metoda údržby sledováním technického stavu

Metoda je založená na pravidelných kontrolách technického stavu během provozu. Při použití této metody se předpokládá včasné zjištění změny stavu při provozu a předejití tím poruchy vzniklé za letu. [3]

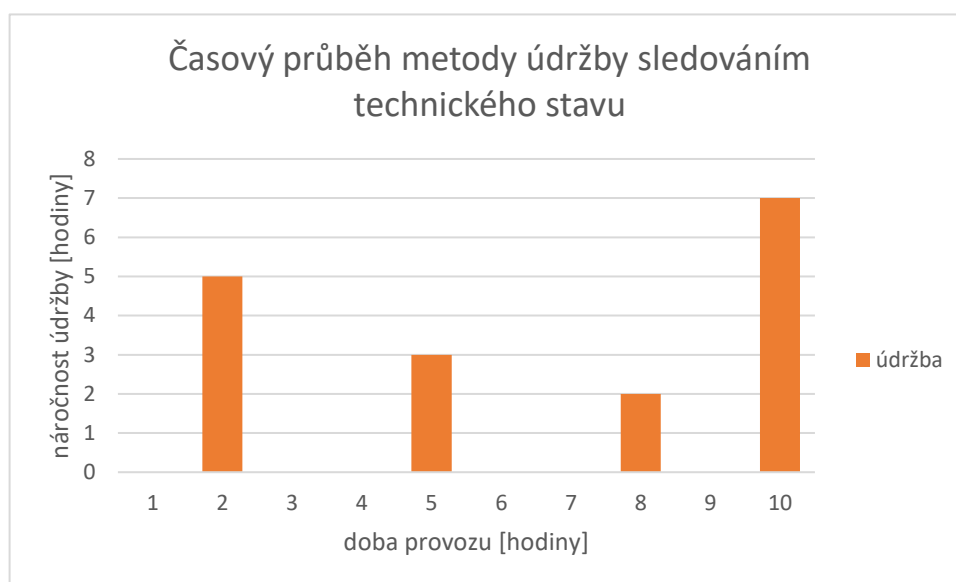
Metoda využívá znalostí o průběhu charakteristických změn hodnot u sledované techniky během provozu. Změny těchto hodnot vyhodnocuje diagnostický systém letounu,

který má za úkol identifikovat správně nastávající změnu a včas upozornit posádku letounu na případnou poruchu. [3]

Výhodou této metody je včasné zjištění poruchy ještě před jejím případným vznikem a nutnost jen minimálních zásahů pro zajištění plné provozuschopnosti letounu, což má za následek snížení náročnosti údržby na minimum. Kontrola provozních hodnot probíhá nepřetržitě a v reálném čase. [3]

Nevýhodou této metody je vlastnit složitý a naprosto spolehlivý diagnostický systém kontrolující všechny měřené hodnoty a vazby mezi nimi. [3]

V následujícím grafickém znázornění lze vidět časový průběh náročnosti údržby sledováním technického stavu. V porovnání s metodou údržby podle skutečného technického stavu se doba údržby zkrátila o časovou náročnost jednotlivých kontrol, protože je technický stav kontrolován neustále.



Obrázek 6 Časový průběh metody údržby sledováním technického stavu

## 1.6 ERP Software

Údržbové organizace pro plánování svého provozu využívají různé specializované software. V údržbové organizaci JOB AIR Technic a.s. se pro podnikové plánování používá ERP software Quantum Control.

ERP (Enterprise Resource Planning) software je druhem softwaru pro řízení podniku. Ve většině případů se jedná o soubor integrovaných aplikací, které organizace používá pro shromažďování, ukládání, správu a interpretaci dat. Za pomoci tohoto softwaru lze

udržovat neustálý dohled nad základními obchodními procesy v systému databází. ERP software pomáhá sledovat obchodní zdroje, suroviny, výrobní kapacitu, objednávky a výplatní listiny. Mezi hlavní přednosti těchto softwarů patří sjednocenost celopodnikového přehledu, a společná podniková databáze. Vazby mezi aplikacemi softwaru dovolují sdílení dat mezi jednotlivými odděleními v rámci podniku. Dalším usnadněním, které ERP software poskytuje, je spojení mezi externími dodavateli.[6][7] [7]

Quantum Control je ERP software vyvinutý společností Component Control. Jedná se o software určený pro podnikový systém řízení údržbových a výrobních organizací z oblasti obchodní letecké dopravy. Software Quantum Control je navržen tak, aby v největší možné míře podporoval komplexní a bezpečné dodržování pravidel certifikací dle FAA, EASA a dalších orgánů vykonávajících dohled nad civilním letectvím. Řídí procesy s cílem zabezpečení dodržení postupů pro udržení kvality a umožňuje podnikům z oblasti výroby a údržby letecké techniky optimalizovat jejich provozní výkony. V programu je také obsažen StockMarket.aero. Jedná se o databázi celosvětového trhu s náhradními díly a materiálem pro leteckou obchodní dopravu v reálném čase. Uživatelům poskytuje možnost prodávat nebo pořizovat materiál přímo z prostředí Software Control. V této databázi mají uživatelé okamžitý přístup k informacím od výrobců, dodavatelů a skladů.[8]



## **2 Analýza současného procesu**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 2* technické zprávy [11].

### **2.1 Etapy procesu údržby**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 2.1* technické zprávy [11].

## 2.2 Výsledné stavy

Během provádění údržby jsou získávána data o průběhu údržby. Tato data je možné po dokončení údržby analyzovat a provést jejich porovnání s vypočtenými predikcemi nebo s daty z jiného projektu údržby stejného typu.

Na základě provedení predikce času potřebného pro údržbu letounu lze tato data porovnat s vypočtenými predikcemi a na základě jejich porovnání lze rozlišit stavy popsané v dalších podkapitolách.

### 2.2.1 *Provedení údržby dle vypočtené predikce*

V případě správné predikce času dojde ke splnění časových požadavků stanovených ve smlouvě o provedení údržby. Zákazníkovi je umožněno uvést letoun zpět do provozu v jeho plánovaném termínu a údržbová organizace obdrží od zákazníka finanční odměnu uvedenou ve smlouvě o provedení údržby. V tomto případě nedochází k žádným ztrátám nebo přebytkům na obou stranách smlouvy.

### 2.2.2 *Provedení údržby po predikovaném termínu*

Zpoždění vniklé při údržbě ve srovnání s vypočtenou predikcí v kterékoliv části procesu údržby má za následek zdržení dalších etap samotného projektu nebo dokonce projektů následujících na dané pracovní ploše. Dále se v tomto případě také bere v úvahu finanční ztráta nejen letecké údržbové organizace, ale také finanční ztráty majitele letecké techniky. Situace může dosáhnout stavu, ve kterém budou provozovatelé letounu odstupovat od smlouvy o provedení údržby. Pro údržbovou organizaci by to znamenalo nejen úbytek zakázek, ale také by provozovatelé mohli po údržbové organizaci vymáhat náhradu za nepředpokládaný čas, který byl letoun mimo provoz. Pro údržbovou organizaci překročení termínu dodání není výhodné hned v několika následujících bodech.

- Při překročení předpokládaného množství hodin na skupinách karet účtovaných předem (viz. kapitola č. 3 Identifikace vstupních dat) není zákazníkem zaplacené překročené množství hodin provedené práce. V případě překročení předpokládané doby pro vypracování dané pracovní karty dochází k placení mzdy mechaniků pouze údržbovou organizací ze zisku organizace. To má za následek nižší zisk nejen z konkrétního projektu, ale také se tyto ztráty mohou promítnout do dalších projektů. Z obecného hlediska pro údržbovou organizaci taková situace znamená menší celkový zisk.
- Při překročení množství hodin na nálezech dochází ke zpoždění na pracovní ploše, kde má ve stejném okamžiku stát již další projekt, který tím pádem nabere

zpoždění. Mzda mechaniků je v tomto případě placena zákazníkem, ale dochází ke zpoždění dalšího projektu, který může zákazník vlivem zpoždění pozastavit a zrušit.

- Vlivem zpoždění projektu může dojít k expiraci materiálu, který je objednáván na daný projekt dle termínu. Ztráty na nepoužitém materiálu jsou finanční ztrátou pro údržbovou organizaci, která musí nakoupit další materiál na vlastní náklady.
- Vlivem zpoždění projektu může dojít pozdějšímu uschopnění letounu k letu a tím může dojít k odstavení vybavení letounu z provozu. V tomto případě se musí daném vybavení provést údržba a uvede se do provozu, pokud to jeho stav dovoluje.

### ***2.2.3 Provedení údržby před predikovaným termínem***

V případě předčasného dokončení údržby dochází k proplacení smluvené částky dle smlouvy. Letoun je zákazníkovi k dispozici dříve. U zákazníka nedochází k žádným přímým ztrátám. Ztráty zákazníka mohou být dány nevyužitým pronájmem náhrady za letoun v údržbě, pokud je taková náhrada u zákazníka zřízena. Pro údržbovou organizaci je tato situace výhodnější, protože má uhrazeno celé období provozu pracovní plochy zákazníkem dle termínů ve smlouvě stanovených predikcí. Dochází zde k nevyužití potenciálu pracovní síly v případě, že je pracovní plocha neobsazena. Nevyužití potenciálu pracovní síly nastane při čekání na termín přistavení dalšího projektu na pracovní plochu. Tento časový interval se může pohybovat v časovém rozmezí několika dnů až týdnů.

### **3 Identifikace vstupních dat**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3* technické zprávy [11].

#### **3.1 Získání balíku prací se záznamy pracovních karet**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3.1* technické zprávy [11].

#### **3.2 Fáze úprav**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3.2* technické zprávy [11].

### **3.3 Pracovní balík**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3.3* technické zprávy [11].

#### **3.3.1 Rozdělení dle povahy prací**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3.3.1* technické zprávy [11].





### ***3.3.2 Rozdělení dle skupin pracovníků***

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 3.3.2* technické zprávy [11].



### **3.3.3 Rozdělení podle účtování**

Plné znění textu je uvedeno v kapitole 3.3.3 technické zprávy [11].

## 4 Analýza vstupních dat a normohodin v reálném provozu

V následující kapitole jsou data z rozboru pracovního balíku. Provozní hodnoty byly získány z reálného provozu při provádění údržby letounu Airbus A320. Data byla posuzována na základě předpokládaných hodin pro vypracování.

### 4.1 Pracovní balík

Pro získání potřebných dat z pracovního balíku byly použity funkce s podmínkami a statistické funkce v programu MS Excel. Pro získání některých dat bylo nutné provázat více tabulek se záznamy, které byly ve většině případů v relacích 1:1.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 4.1* technické zprávy [11].









## **4.2 Analýza skupiny s účtováním předem**

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 4.2* technické zprávy [11].

















### **4.3 Časový průběh údržby**

Pro správný průběh údržby a správný chod celé pracovní linky je důležitá správné nasazení pracovní síly. Data o denním počtu odpracovaných hodin byla upravena v programu MS Excel.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 4.3* technické zprávy [11].









#### **4.4 Srovnání dat s externími zdroji**

Na základě získaných externích dat doporučených výrobcem letounů AIRBUS a provozovatelem letounu bylo provedeno porovnání hodnot předpokládané časové náročnosti. Data byla zpracována v programu MS Excel.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 4.4* technické zprávy [11].



## 5 Návrh optimalizace

Pro návrh optimalizace byl zvolen výběr pracovních karet s doporučením pro úpravu stávajících předpokládaných hodnot na základě dat získaných v provozu. Pro optimalizaci bylo zavrhnuto řešení úprav hodnot pomocí jednotných koeficientů, protože nebyla nalezena rozsáhlejší souvislost mezi rozdíly hodnot u jednotlivých pracovních karet. V návaznosti s těmito poznatky bylo navrženo použití dynamického systému úprav, který upravuje každou hodnotu pracovní karty samostatně. Další část této kapitoly byla věnována provozním podmínkám, nedostatkům a úzkým hrdlům v provozu, které mají vliv na zjištěné ztráty.

Pro optimalizaci predikce je nutné zmínit, že se v rámci organizace nachází více pracovišť. Pracoviště mají různou polohu v rámci komplexu budov a jejich podmínky pro práci se mohou lišit. Vliv na výsledek dat má také technický stav letecké techniky, vybavení letecké techniky, stáří letecké techniky, místo provozu letecké techniky a výkonnost pracovníků.

Na základě seznámení s provozem byla provedena měření, pozorování v provozu a rozhovory s pracovníky. Hodnoty z měření jsou ovlivněny podmínkami při měření a také samotným měřením.

### 5.1 Třídění dat pomocí softwaru

Vzhledem k velkému množství záznamů v jednotlivých souborech dat z údržby byl vytvořen v aplikaci Microsoft Visual Basic, která je součástí programu MS Excel, následující software. Software je zjednodušením třídění záznamů z pracovního balíku na základě zadaných podmínek. Skript softwaru je umístěn v *příloze 1*.

Záměrem tohoto softwaru bylo zjednodušit třídění záznamů z databáze pracovního balíku a vytvořit jejich samostatný výpis s unikátními znaky. Vstupem do algoritmu softwaru je databáze záznamů pracovního balíku a identifikační název listu. V *obrázku 9* je zobrazen vývojový diagram algoritmu použitého pro třídění záznamů.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.1* technické zprávy [11].





## **5.2 Navrhovaný systém úprav**

Pro návrh výpočtu bylo vycházeno z hodnot stávajících předpokládaných časů a limitů. Důležité je zmínit, že hodnoty jsou ovlivněny pracovními podmínkami, technickým stavem letecké techniky a motivací pracovníků.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.2* technické zprávy [11].







### 5.3 Vlivy na změny předpokládaných časů

Při provozu pracovní plochy působí na pracovníky řada faktorů pracovního prostředí jako jsou výkyvy teplot, hluk, vibrace, chemické látky, prach a celková fyzická nebo psychická zátěž. Na výkonnost má také vliv motivace k práci a provozních činností.

Během pozorování provozu pracovní plochy a rozhovorů s pracovníky bylo zjištěno, že na variabilitu časových změn ve vypracování pracovních karet má během údržby letecké techniky vliv několik dalších faktorů. Mezi zjištěné faktory patří technický stav letecké techniky, činnosti jiných pracovníků, uspořádání pracovní plochy, poloha pracovní plochy v rámci hangáru, celková a aktuální výkonnost pracovníků, stav náradí a techniky, dostupnost náradí a techniky, dostupnost materiálu a den směnového kalendáře.

#### 5.3.1 *Technický stav letecké techniky*

Při rozhovorech s pracovníky bylo upozorněno na vliv technického stavu letecké techniky na rychlost přístupu k místu práce a další speciální požadavky pro práci v tomto místě. V tomto případě se nejedná o nálezové karty, které na základě těchto okolností vznikají.

Při zhoršeném stavu letecké techniky může docházet ke ztrátám na pracovních kartách, která zahrnují jen prohlídku nebo činnost jednoduššího charakteru. Ztráty mohou být způsobeny vlivem opotřebení, mechanického poškození, většího množství nálezů nebo zanedbáním předešlé údržby. Ke ztrátám tohoto charakteru může docházet při překonávání drobných překážek v předepsaném postupu. Z praktického hlediska se může jednat o pokřivený zámek přístupového místa, který vyžaduje speciální postup. V případě většího množství nálezů může soupis a následná tvorba nálezových karet ovlivnit výsledný čas pracovní karty. Při zanedbání předešlé údržby, například při nenamazání šroubů u krytů, je zapotřebí větší síly a opatrnosti, aby nedošlo k poškození hlavy šroubu nebo okolí šroubu při jeho povolování. V těchto popsanych případech dochází k malým ztrátám času, ale jejich výskyt může být čtenější a může ovlivnit pracovní karty s nižší časovou náročností.

Plné znění textu je uvedeno v kapitole 5.3.1 technické zprávy [11].

Vliv technického stavu se dá eliminovat vhodným nastavením časových rezerv.

### **5.3.2 Činnost jiných pracovníků**

Během pozorování v provozu byl zjištěn vzájemný vliv pracovníků na probíhající činnost.

Při průběhu údržby dochází k průběhu několika činností současně. Některé činnosti se navzájem ovlivňují při práci vznikají prostoje. Mezi příkladné situace patří pohyb pracovníků v okolí prováděné činnosti.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.3.2* technické zprávy [11].

Vhodným počtem pracovníků na ploše a jejich vhodným rozmístěním lze dosáhnout menších časových ztrát.

### **5.3.3 Uspořádání pracovní plochy**

Pracovní plocha každého pracoviště je rozdělena na jednotlivé sektory. Vhodným uspořádáním této plochy lze docílit snížení času pro přípravu nástrojů a pomůcek na pracovišti.

V okolí letounu je nutné vhodně uspořádat pojízdné schody a plošiny, administrační pracoviště, zvedáky, manipulační stroje, regály pro demontované díly a odkládací plochy. Nejvhodnější uspořádání je takové, ve kterém je upřednostněno umístění nejčastěji používaných ploch a předmětů nejbližší k obsluhovanému prostoru letounu. Snížení času lze také docílit vhodným umístěním schodů na stranu letounu, ke které se přichází k letounu nejčastěji.

Za předpokladu, že bude tento řád pracovníky na pracovní ploše dodržován, lze docílit snížení časové náročnosti všech činností. Při výrazném snížení vzdáleností, které musí pracovníci během svých činností překonávat, lze docílit menšího snížení fyzické námahy pracovníků. Snížením fyzické námahy pracovníků může vést k lepší výkonnosti pracovníků a jejich vytrvalosti během série směn.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.3.3* technické zprávy [11].

#### ***5.3.4 Poloha pracovní plochy v rámci hangáru***

hangáru je rozmístěno několik pracovních ploch, na kterých je prováděna údržba letecké techniky. V *obrázku 12* lze vidět přibližnou polohu pracovních ploch, výdejny náradí a skladu materiálu v hangáru.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.3.4* technické zprávy [11].

### **5.3.5 Provoz výdejny nářadí**

Při rozhovorech s pracovníky o úzkých hrdlech v pracovním procesu byla doporučeno pozorování výdejny nářadí. Do této výdejny nářadí si chodí pracovníci pro potřebné nářadí k výkonu práce. Vzhledem k hodnotám, které zde byly naměřeny a informacím, které byly získány by bylo vhodné se touto problematikou v budoucnu zabývat více.

Plné znění textu je uvedeno v kapitole 5.3.5 technické zprávy [11].

### **5.3.6 Celková a aktuální výkonnost pracovníků**

Výkonnost pracovníků lze sledovat u skupin a také jednotlivců. Každou skupinu a jednotlivce lze posuzovat na základě průměrných a denních hodnot. U průměrných hodnot nastávají změny velmi pomalu, zatím co denní hodnoty se mohou měnit velmi často a nárazově.

Výkonost skupin na jednotlivých pracovních plochách je různá. Tyto rozdíly jsou dány především výkonností jednotlivců ve skupině, ze které je složena, vzájemných vztazích uvnitř skupiny a také na vzájemné spolupráci jednotlivců. Velký podíl na dobré výkonnosti skupiny má především morálka skupiny a motivace dosáhnout společného cíle.

Výkonnost jednotlivce je závislá na jeho fyzických a duševních předpokladech, motivaci k práci, pracovních podmínkách a organizaci jeho vedení.

Různým rozdělením pracovníků mezi linkami lze dosáhnout různých výkonů skupin.

### **5.3.7 Stav nářadí a techniky**

Pro plné využití potenciálu pracovníků je důležitý stav nářadí a techniky, se kterou je práce prováděna.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.3.7* technické zprávy [11].

S funkčním a vhodným nářadím mají pracovníci lepší morálku a mají šanci dosáhnout lepších pracovních výsledků. V případě sdílených nástrojů je pro udržení morálky důležitá jejich nerozdílnost. V případě výpočetní techniky a její datové sítě je důležitý její přiměřený výkon, aby nedostatky této sítě příliš neovlivňovaly pracovníky při výkonu práce.



### **5.3.8 Dostupnost nářadí, techniky a materiálu**

Bez dostupných prostředků a materiálu není možné provádět požadované práce. Proto je nutné, aby nářadí a materiálu byl vždy dostatek v přiměřené míře.

Plné znění textu je uvedeno v kapitole 5.3.8 technické zprávy [11].

### **5.3.9 Délka pracovních směn**

Výkonnost pracovníků v rámci série směn klesá s narůstajícím počtem směn. Podle délky denní pracovní doby se průběh výkonnosti také může lišit. U náročnější a kvalifikovanější práce, jako je práce leteckého mechanika se dá předpokládat, že snížení výkonnosti bude v sérii směn výraznější.

Plné znění textu je uvedeno v kapitole 5.3.9 technické zprávy [11].

Pro požadovanou výkonnost pracovníků je důležité správně nastavení denní pracovní doby a počet směn jdoucích za sebou.

## **5.4 Průběh práce pracovníka**

V rámci pozorování v provozu bylo provedeno měření práce pracovníka, a především jednotlivých úkonů, které jsou s prací spojené. Měření nebylo ovlivněno vlivy pracovního prostředí, protože probíhalo v době polední přestávky, když byla pracovní plocha bez pracovníků. Docházelo pouze k ovlivnění vlivem měření.

Plné znění textu je uvedeno v *kapitole 5.4* technické zprávy [11].

## 5.5 Rizika úprav

Změna stávajících hodnot předpokládaného času na pracovních kartách může mít vážný dopad na kvalitu práce a dodržování bezpečnosti při práci. Současně je důležité ponechat vhodnou časovou rezervu, která pracovníky motivuje k zvýšení výkonnosti pro vypracování a zároveň vyvolá u pracovníků zdravou míru stresu, který zvyšuje výkonnost.

Při zachování stávajících hodnot předpokládaných časů nedojde k žádné znatelné změně. V případě změny pracovních podmínek může dojít pouze ke změnám vypracovaných časů.

Při navýšení hodnoty předpokládaných časů lze docílit přesnějších predikcí a tím také plynulejšímu provozu pracovních ploch. Předpokládané časy se budou více blížit skutečným odpracovaným časům. Vlivem navýšení časů se zvýší předpokládaná ekonomická náročnost údržby pro zákazníky, ale jejím zpřesněním budou moci vykonávat vhodná rozhodnutí v případě přidání prací do pracovního balíku. V případě financování údržby se předpokládané hodnoty budou pohybovat blíže ke skutečným hodnotám. Pracovníci při navýšení časů nebudou pociťovat fyzickou a psychickou zátěž a jejich výkon se může zvýšit vlivem lepších předpokladů pro vypracování pracovních karet ve stanoveném limitu. V případě příliš velkého navýšení hodnoty předpokládaných časů hrozí naopak snížení výkonnosti a pracovníci budou provádět stejné práce za delší časové úseky. Předpokládaný průběh údržby se prodlouží u všech projektů a sníží se tak počet předpokládaných projektů na pracovní ploše za časový interval. Snížení počtu projektů a prodloužení délky údržby je jen fiktivní, protože hodnoty budou více odpovídat skutečnosti a projekty budou na sebe více navazovat.

V případě snížení hodnoty předpokládaných časů je nejdůležitější vliv na kvalitu prováděné práce a na bezpečnost na pracovišti. Snížením předpokládaných časů na správnou hodnotu bude docíleno přesnějšího odhadu celkových časů. Tímto zpřesnění lze docílit plynulejšího provozu na pracovní ploše. Při vhodném snížení předpokládaných časů lze předpokládat zvýšení výkonnosti vlivem odstranění přebytečného času na nadhodnocených pracovních kartách. Výrazným snížením předpokládaných časů může nastat naopak snížení efektivity vlivem demotivace pracovníků vzhledem k nemožnosti dosažení požadovaného času pro vypracování. Při výrazném snížení předpokládaných časů může dojít také k nekázni, snížení míry bezpečnosti při práci, nedodržování postupů, norem a standardů.

Všechny změny je důležité pečlivě zvážit a provést důkladnou analýzu před úpravou, protože jejich následky mohou vést až k letecké havárii se ztrátou na životech.

## 6 Závěr

Záměrem této bakalářské práce bylo zpřesnění předpokládaného času potřebného pro provedení údržby letounu. Pomocí analýzy dat lokalizovat nesprávně ohodnocené pracovní karty, u kterých zároveň dochází k největším ztrátám a navrhnout řešení ke zpřesnění dat.

Porovnání dat proběhlo na základě interních hodnot a provozních hodnot získaných při reálné údržbě letounu Airbus A320. Během pozorování bylo zjištěno, že velká část nepřesností je dána vlivem proměnlivosti provozních podmínek, motivací pracovníků a technického stavu letecké techniky. Pro přesnější predikce je důležité tyto vlivy podrobněji prozkoumat a jejich efekt ve výpočtu predikce zohlednit.

Na základě provedené analýzy z dostupných dat byla zjištěna největší míra nepřesností u skupiny pracovních karet pravidelné údržby dle požadavků zákazníka. Hodnoty v této skupině vykazovaly největší míru variability a nárůstu od předpokládaných časů. Skupina těchto karet si vyžaduje podrobnější analýzu a měření v provozu. Průběh denních hodnot odpracovaných hodin nevykazoval dosažení požadovaného výsledku.

Při srovnání dat s doporučenými daty výrobce nedošlo k nalezení souvislostí mezi hodnotami. Použití hodnot doporučených výrobcem k úpravám současných interních hodnot nebylo doporučeno z důvodu neúplností informací o zdroji.

Pro efektivní vyhledání dat dosahujících nežádoucích hodnot byl v programu MS excel vytvořen software, který při správném použití vytvoří tabulku s výpisem záznamů obsahující nežádoucí hodnoty. Na základě výstupu tohoto softwaru lze sledovat četnost výskytu nežádoucích hodnot v pracovních balících.

Vzhledem k proměnlivosti změn probíhajících v provozu není úprava dat pomocí koeficientu vhodná. Současně není vhodné používat stejná data pro všechny pracovní plochy.

Současná data používaná pro predikce jsou pouze průměrem všech rozdílných hodnot a jejich informace jsou velmi stručné a neaktuální. Část dat vyžaduje korekci nebo jiný způsob stanovení predikce. Vhodnějším rozdělením dat dle jednotlivých parametrů pracovních ploch by bylo možné docílit mnohem přesnějších predikcí. Z těchto důvodů oblast plánování v rámci organizace Job Air Technic a.s. vyžaduje podrobnější zkoumání a nabízí vysoký potenciál pro další optimalizaci.

## **Poděkování**

*Děkuji panu Ing. V. Grafovi, Ph.D. za projevenou ochotu, trpělivost, odborné vedení, pomoc při psaní této bakalářské práce a řešení problémů spjatých s její tvorbou.*

*Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. J. Krystynovi za jeho pomoc při získávání všech potřebných informací a poskytnutí důležitých dat.*

*V neposlední řadě patří poděkování také všem dalším pracovníkům organizace Job Air Technic a.s., kteří mi věnovali čas a dovolili mi pozorování jejich činnosti.*

## Zdroje

- [1] FAMFULÍK, Jan, Jana MÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK. *Teorie údržby* [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007 [cit. 2020-03-16]. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/>
- [2] KOBLEN, Ivan a Stanislav SZABO. *Manažment životného cyklu leteckej techniky I*. Košice: MULTIPRINT, 2016. ISBN 978-80-89551-28-6.
- [3] KOBLEN, Ivan a Stanislav SZABO. *Manažment životného cyklu leteckej techniky II*. Košice: MULTIPRINT, 2017. ISBN 978-80-553-2829-4.
- [4] JOB AIR Technik a.s.: O společnosti. *JOB AIR Technik a.s.: O společnosti* [online]. Gen. Fajtla 370, 742 51 Mošnov, Czech Republic: eBRÁNA, 2020, 2020 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://www.jobair.eu/o-spolecnosti>
- [5] JOB AIR Technik a.s. *LinkedIn* [online]. Sunnyvale, CA, 2003, 2020 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/company/job-air-technic-a-s>
- [6] Plánování podnikových zdrojů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 4. 11. 2019 v 10:43 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD\\_podnikov%C3%BDch\\_zdroj%C5%AF](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1nov%C3%A1n%C3%AD_podnikov%C3%BDch_zdroj%C5%AF)
- [7] Enterprise resource planning. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2.3.2020 v 4:28 (UTC) [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise\\_resource\\_planning](https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise_resource_planning)
- [8] Quantum Control. *Component Control: Quantum Control* [online]. San Diego, USA, 2020, 2020 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://www.componentcontrol.com/products/quantum>
- [9] ŽÁK, Libor. *Matematika IV: Popisná statistika - zavedení pojmu* [online]. ÚM FSI Brno, 2006 [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://mathonline.fme.vutbr.cz/Popisna-statistika/sc-1146-sr-1-a-139/default.aspx>. Učebnice. VUT Brno.
- [10] DORDA, Michal. *Zpracování náhodného výběru: popisná statistika* [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~dor028/KMORII\\_1.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/KMORII_1.pdf). Přednáškový materiál. VŠB-TU Ostrava.
- [11] KRUMP, Štěpán. *Optimalizace predikce časové náročnosti údržby letadel: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2020, 74 s. Vedoucí práce: Graf V.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Časový průběh tradiční metody údržby .....	19
Obrázek 2 Schéma metody údržby podle bloků.....	20
Obrázek 3 Časový průběh metody údržby podle bloků .....	21
Obrázek 4 Časový průběh metody nepřetržité údržby .....	22
Obrázek 5 Časový průběh údržby podle skutečného technického stavu .....	23
Obrázek 6 Časový průběh metody údržby sledováním technického stavu.....	24
Obrázek 7 Histogram hodnot koeficientu změny skupiny BASIC .....	48
Obrázek 8 Náhled formátu vstupních dat.....	54
Obrázek 9 Vývojový diagram makra .....	55
Obrázek 10 Náhled výpisu pracovních karet .....	56
Obrázek 11 Náhled do struktury makra .....	56
Obrázek 12 Schématický plán hangáru .....	62

## Seznam grafů

Graf 1 Graf časového průběhu celé údržby.....	49
Graf 2 Graf s porovnáním časového průběhu údržby .....	50
Graf 3 Časový průběh údržby podle skupin karet.....	51
Graf 4 Časový průběh údržby u skupin pracovníků.....	52
Graf 5 Graf Simulace průběhu úpravy dat .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka změn v úpravě vstupních dat.....	30
Tabulka 2 Tabulka skupin typů pracovních karet .....	30
Tabulka 3 Tabulka skupin pracovníků .....	33
Tabulka 4 Tabulka počtů pracovních karet v pracovním balíku.....	35
Tabulka 5 Tabulka časové náročnosti pracovního balíku .....	36
Tabulka 6 Tabulka s velikostí intervalů předpokládaných hodin .....	37
Tabulka 7 Tabulka s velikostí intervalů odpracovaných hodin.....	37
Tabulka 8 Tabulka s velikostí intervalu změn hodin .....	38
Tabulka 9 Tabulka průměrů hodin na pracovní kartu .....	39
Tabulka 10 tabulka koeficientu nárůstu .....	40
Tabulka 11 Tabulka základních charakteristik skupiny s účtováním předem .....	41
Tabulka 12 Tabulka statistických charakteristik časových změn skupiny s účtováním předem.....	42



Tabulka 13	Tabulka základních charakteristik skupin pracovníku BASIC .....	43
Tabulka 14	Tabulka základních charakteristik skupin pracovníku CUSTOMERS .....	43
Tabulka 15	Tabulka základních charakteristik skupin pracovníku ADDED WORK...	43
Tabulka 16	Tabulka počtu překročených pracovních karet o 1 hodinu .....	44
Tabulka 17	Tabulka počtu pracovních karet s časovou ztrátou 15 % .....	44
Tabulka 18	Tabulka počtu pracovních karet s časovou ztrátou 15 % a současně s překročením ztráty 1 hodiny .....	45
Tabulka 19	Tabulka procentuálního zastoupení ztrátových pracovních karet .....	45
Tabulka 20	Tabulka koeficientu změny celkových časů .....	46
Tabulka 21	Tabulka kvantilových charakteristik koeficientu změny .....	47
Tabulka 22	Tabulka s denní počty hodin .....	49
Tabulka 23	Tabulka porovnání hodnot podle provozovatele .....	52
Tabulka 24	Tabulka porovnání hodnot podle výrobce .....	53
Tabulka 25	Tabulka vybraných hodnot průběhu úpravy zpožděné karty .....	58
Tabulka 26	Tabulka vybraných hodnot průběhu úpravy karty s úsporou .....	58
Tabulka 27	Tabulka celkových hodnot po úpravě .....	59
Tabulka 28	Tabulka vzdáleností skladu materiálu a výdejny náradí .....	63
Tabulka 29	Tabulka dat z výdejny náradí .....	64
Tabulka 30	Tabulka parametrů měřené pracovní karty .....	67
Tabulka 31	Tabulka hodnot měření .....	68

## Seznam příloh

Příloha A: Skript makra.txt